

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СКОРОСТНОГО  
ВОЗВЕДЕНИЯ МАССИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ:  
ОПЫТ АО «ВНИИГ ИМ. Б.Е. ВЕДЕНЕЕВА» В  
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ  
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**ТЮТЮНЩИКОВ НИКОЛАЙ ВИКТОРОВИЧ**

Заведующий лабораторией «Технологии бетонных работ  
и специальных исследований в строительстве», к.т.н.



**Скоростное возведение массивных конструкций** — комплекс технологических и организационных решений, направленных на значительное сокращение сроков строительства при обеспечении требуемого качества и надёжности.

## Преимущества скоростной технологии

Технология основана на применении индустриальных методов производства работ и применении современных видов высокотехнологичных бетонных смесей

### Технологические показатели

- Полностью механизированный способ укладки;
  - ❖ укладка бетона в конструкции без виброуплотнения;
  - ❖ поддержание высокого темпа строительства;

### Временные показатели

- Сокращение времени возведения в 1,5 ÷ 2 раза, за счет:
  - ❖ бетонирования укрупнёнными блоками с объемом бетона 2÷5 тыс. м<sup>3</sup> и более;
  - ❖ сокращения на 20-50% продолжительности выдерживания бетона.



## Экономические показатели

- Снижение трудо- и энергозатрат на укладку бетона в конструкции;
- Снижение затрат на материально-техническое обеспечение на 20-40%;
- Снижение накладных расходов (содержание стройплощадки, зарплаты управленческого состава, аренда оборудования и т.д.);
- Существенное снижение затрат на подготовку строительных швов в 2-6 раз;
- Снижение затрат при эксплуатации возведённых конструкций ГТС, за счет повышения межремонтного периода в 2÷3 раза;
- Ранний ввод энергообъекта в эксплуатацию → досрочная прибыль.



## Качественные показатели

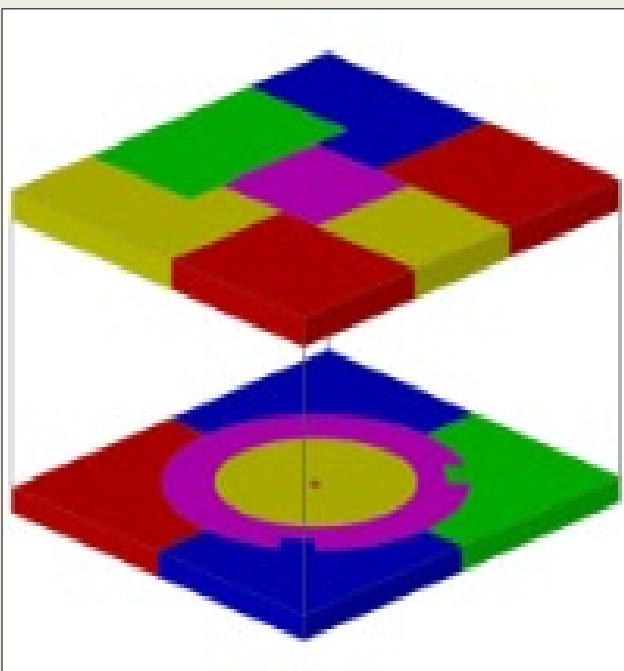
- Повышенная трещиностойкость бетона конструкций;
- Повышенная монолитности и сплошности бетонного массива сооружений, за счет:
  - ❖ снижение количества межблочных швов в 4÷6 раз;
  - ❖ применения бетонов с высокими эксплуатационными свойствами – с повышенными показателями по морозостойкости, водонепроницаемости, коррозионной стойкости, а также деформативным характеристикам.



## Массивные (горизонтальные) конструкции

Фундаментная плита реакторного здания (УА). В30 F1100 W6  
Высота 2,6 м габаритные размеры в плане 78,0 x 83,0м. Общий объем бетона ~ 16 800 м<sup>3</sup>.

### Стандартный метод возведения



#### ВИБРИРОВАННЫЙ БЕТОН П-4

**13 захваток**

Интенсивность  
**менее 60 м<sup>3</sup>/ч**

Время  
бетонирования  
**4 месяцев**

Объем захватки  
**от 300 до 1200м<sup>3</sup>**



### Скоростное возведение



#### СУБС

**6 блоков**

Интенсивность  
**от 90 до 200 м<sup>3</sup>/ч**

Время  
бетонирования  
**65 дней**

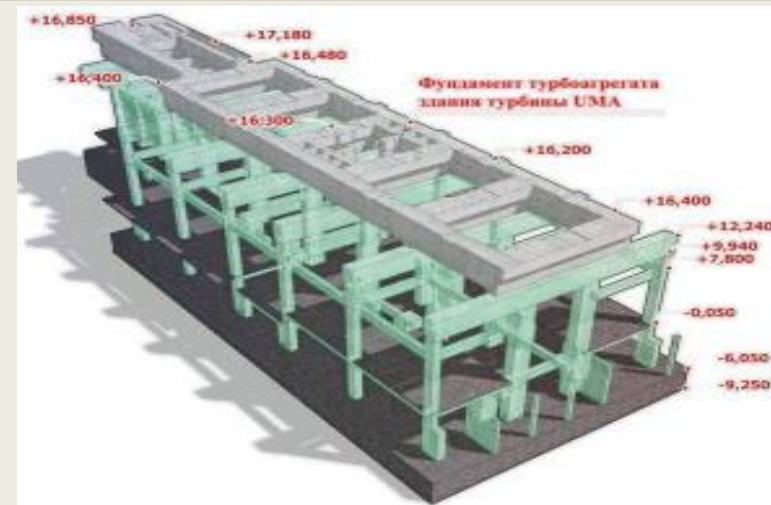
Макс.объем захватки  
**более 3 500м<sup>3</sup>**



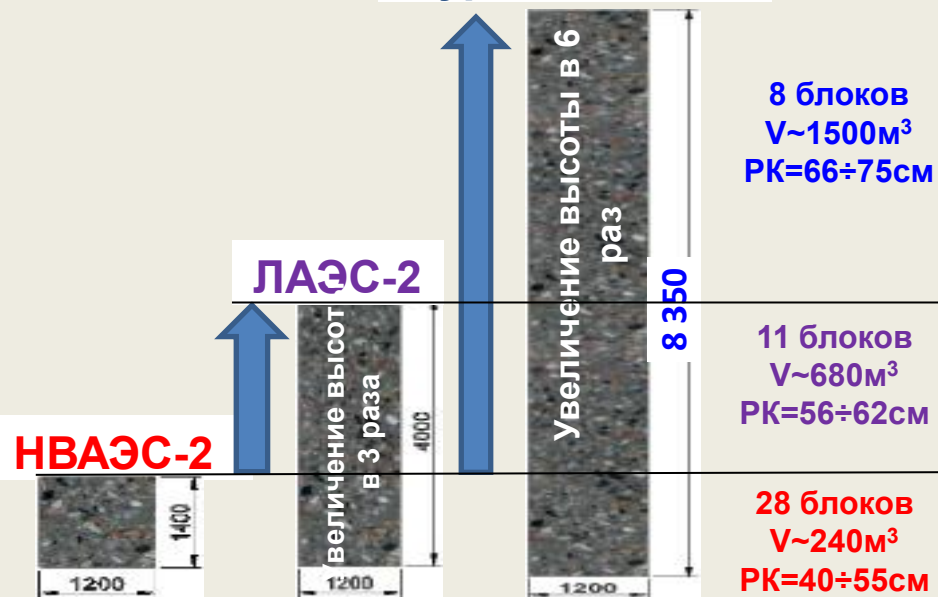
## Бетонирование конструкций сложной конфигурации

Впервые верхнее строение турбоагрегата К-1200-6,8/50+ТЗВ-1200-2АУЗ здания турбины УМА НВАЭС-2 (сочетающей массивные и тонкостенные элементы)

Конструкция возведена по скоростной технологи в монолитном исполнении с непрерывной заливкой бетона взамен традиционного варианта из сборного железобетона



## Курская АЭС-2



## Бетонирование вертикальных массивных конструкций

Внутренняя защитная оболочка зданий реакторов 10УА и 20 УА НВАЭС-2, ЛАЭС-2 и Курская АЭС-2

Реализация технологии непрерывной укладки бетона в цилиндрическую часть ВЗО позволило:

- ✓ увеличить высоту и объем блока – **в 6 раз;**
- ✓ сократить количество блоков – **в 3,5 раза.**



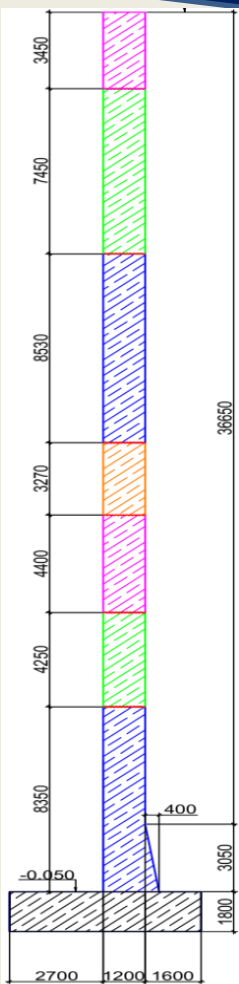
### Реализованная технология на Курской АЭС-2

Максимальная высота яруса – 8,6 м.

Длительность одного цикла бетонирования - набор бетоном распалубочной прочности – демонтаж опалубки яруса – подготовка рабочего шва – монтаж опалубки вышележащего яруса составляет **5 суток**.  
Для 7 ярусов – не менее **35 суток**.

#### Выдерживание бетона

1 яруса – 7 дней;  
7 ярусов – 49 дней.



в 1,6 раза ↑

в 2,0 раза ↓

в 2,3 раза ↓

в 3,3 раза ↓

### Высокоскоростная технология

Максимальная высота яруса – 14,0 м.

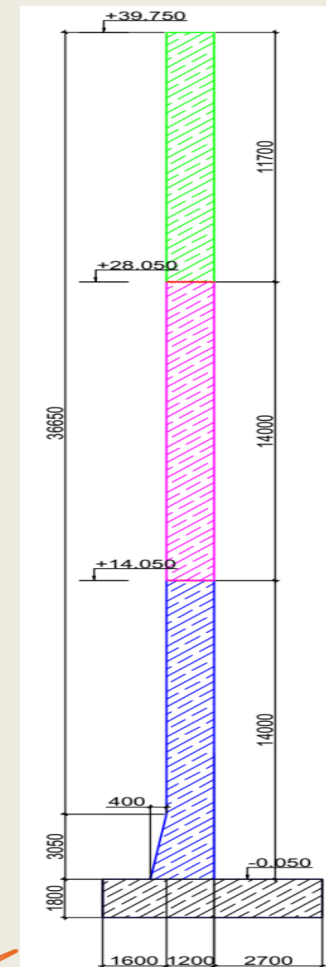
Длительность одного цикла бетонирования - набор бетоном распалубочной прочности – демонтаж опалубки яруса – подготовка рабочего шва – монтаж опалубки вышележащего яруса составляет **5 суток**.  
Для 3 ярусов – **18 суток**.

#### Выдерживание бетона

1 яруса – 7 дней;  
3 ярусов – 21 день.

При использовании **композиционного цемента**

1 яруса – 4÷5 дней;  
3 ярусов – 12÷15 дней.



Расчетный срок службы ответственных сооружений (плотин, водосбросов, устоев) — **50 лет и более**

СП 58.13330.2019 «Свод правил. Гидротехнические сооружения. Основные положения»

4.4 При проектировании гидротехнических сооружений следует предусматривать и обеспечивать:  
- надежность и безопасность сооружений на всех стадиях жизненного цикла;

Надежность работы конструкций и их долговечность во многом определяется **качеством бетонных работ.**

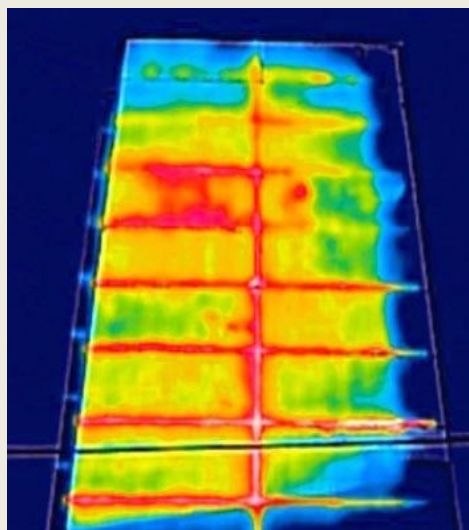
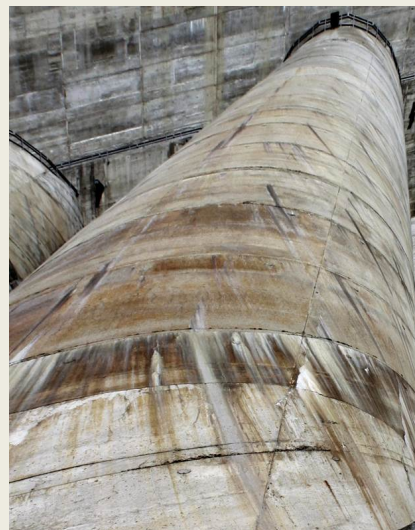
ТРАДИЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ  
УКЛАДКИ БЛОКАМИ  
МАЛОГО ОБЪЕМА

БОЛЬШОЕ КОЛИЧЕСТВО  
СТРОИТЕЛЬНЫХ ШВОВ

ЗОНЫ СТРУКТУРНОЙ  
НЕОДНОРОДНОСТИ, СНИЖАЮЩИЕ  
НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

**Низкая скорость  
возведения** — длительные  
технологические перерывы.

**Высокие трудозатраты** —  
подготовка поверхностей,  
обработка швов.



1

## Снижение несущей способности

- Фактическая несущая способность в зоне шва может составлять **60–80%** от расчетной.
- Со временем происходит **накопление повреждений** (усталостные явления).

2

## Концентрация напряжений

- Швы создают зону неоднородности;
- Швы выступают в качестве концентраторов напряжений при циклических нагрузках (наполнение – сработка, сезонные колебания температур, сейсмика);
- Нарушается монолитность массива в швах, что ускоряет развитие трещин.

3

## Проблемы водонепроницаемости (фильтрация)

- Повышенная фильтрация и риск размыва при перепадах напоров;
- Фильтрация через швы вызывает: выщелачивание цементного камня (коррозия бетона I вида); активизацию коррозии арматуры; суффозию грунтов основания при контакте с грунтом.

4

## Технологические риски устройства

- Дефекты устройства шва часто не выявляются при приемке, но проявляются в процессе эксплуатации.

5

## Экономическая составляющая:

- Ремонт швов в эксплуатируемых гидротехнических сооружениях технически сложен и дорогостоящ.

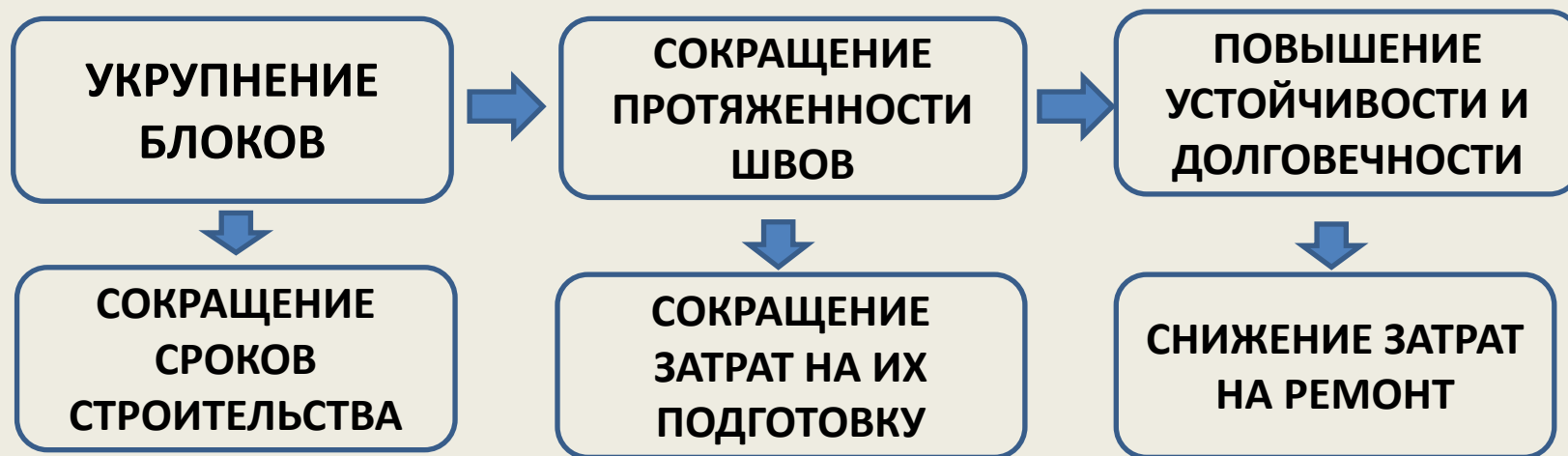


СП 357.1325800.2017 «Свод правил. Конструкции бетонные гидротехнических сооружений».

п. 5.4. Для сокращения продолжительности строительства, трудозатрат и стоимости гидротехнических сооружений **производство бетонных работ должно осуществляться индустриальными передовыми методами** с применением комплексной механизации.

п. 5.13. При разработке ППР необходимо предусматривать возможность совмещения **строительных швов** с температурно-деформационными швами, с тем чтобы, увеличив плановые размеры захваток бетонирования обеспечивать возможность использования полной комплексной механизации бетонных работ и сокращения объема трудоемких вспомогательных работ (опалубочных, цементационных и т.п.).

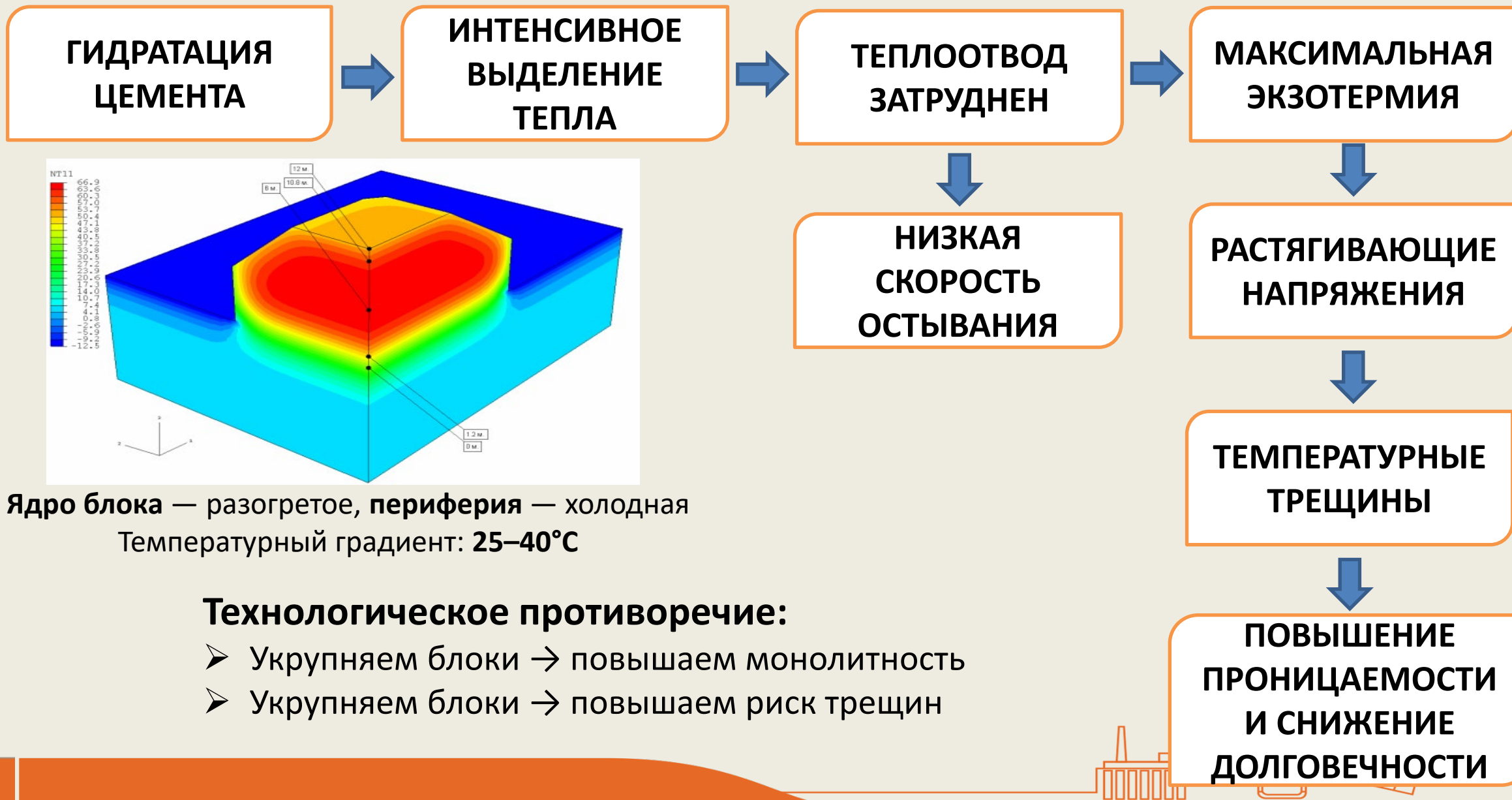
## Технология возведения массивными блоками



**Основная задача при реализации технологии:** снижение риска трещинообразования от экзотермического разогрева бетона.

**Цель:** разработка технологии, обеспечивающей баланс между монолитностью и трещиностойкостью.

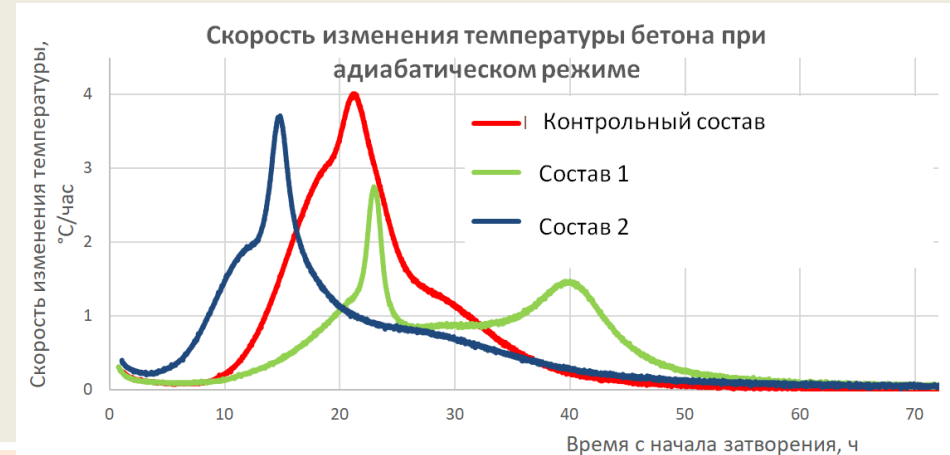
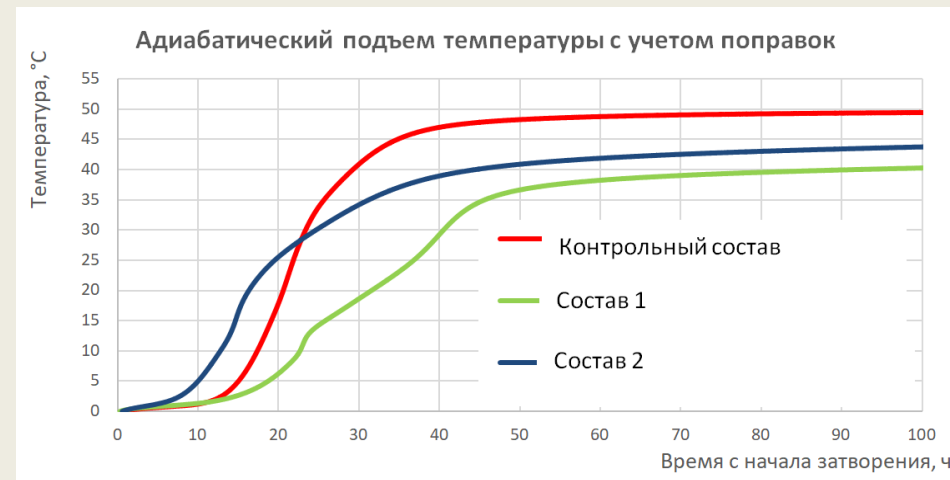




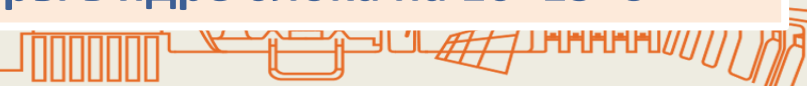
**Низкотермичные бетоны** — бетоны, характеризующиеся сниженной скоростью и суммарным тепловыделением в процессе гидратации цемента.

**Снижение экзотермии достигается за счёт:**

Способ	Эффект
Цементы с низким содержанием клинкера (композиционные)	Снижение тепловыделения на 20–30%
Полифракционные смеси	Снижение расхода цемента
Тонкодисперсные добавки (зола, шлак, микрокремнезем)	Замедление экзотермии
Замедлители схватывания	Регулирование кинетики тепловыделения



**Эффект от применения НТБ: снижение максимальной температуры в ядре блока на 10–15°C**

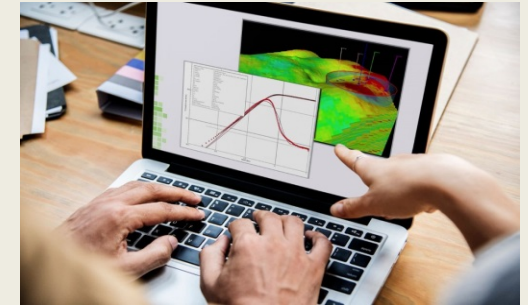


**Только применения низкоглинкерных цементов и добавок недостаточно.**

**Необходим системный подход:**

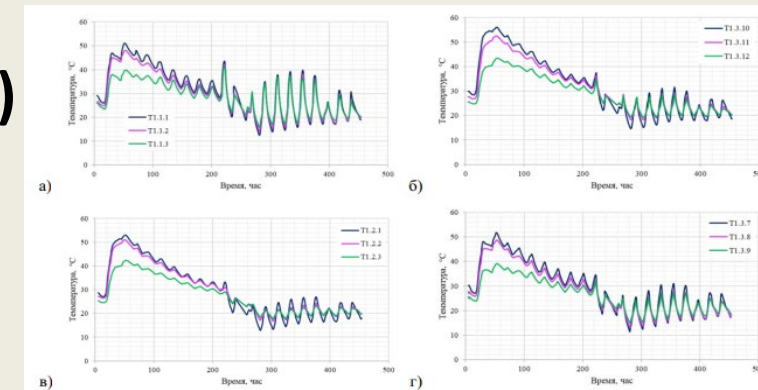
**1. Расчетное обоснование и цифровое моделирование**

- КЭ-моделирование температурных полей;
- Определение оптимальных размеров блоков, состава бетона, теплозащиты.



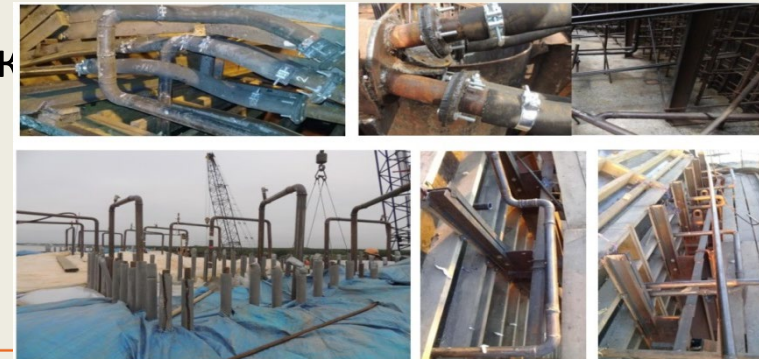
**2. Мониторинг температурно-напряженного состояния (ТНС)**

- Закладные датчики;
- Контроль и анализ в реальном времени для своевременного принятия решений.



**3. Регулирование скорости остывания бетонного массива**

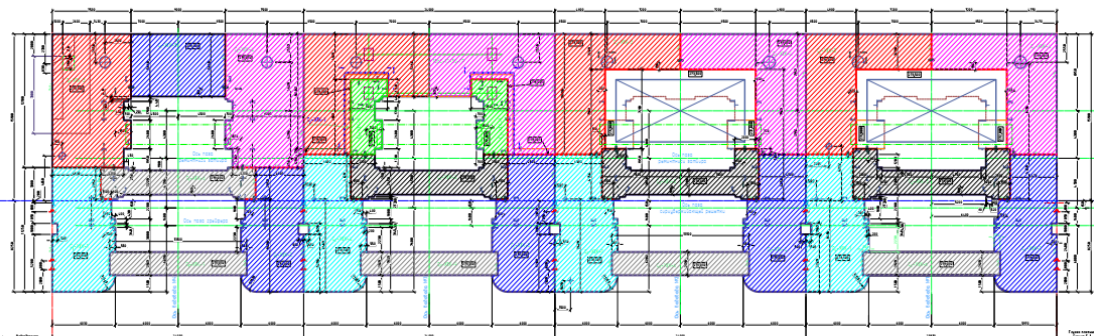
- принудительное охлаждение ядра конструкции (трубное охлаждение воды через систему труб);
- теплоизоляция периферийных зон конструкции.



Концептуальные решения по возведению массивных конструкций и сооружений Нижне-Зейской ГЭС с применением скоростных методов бетонирования и высокотехнологичных составов бетона

Реализация на  
Усть-Среднеканской ГЭС

Станционная плотина с отм. 275,50 до  
отм. 778.00

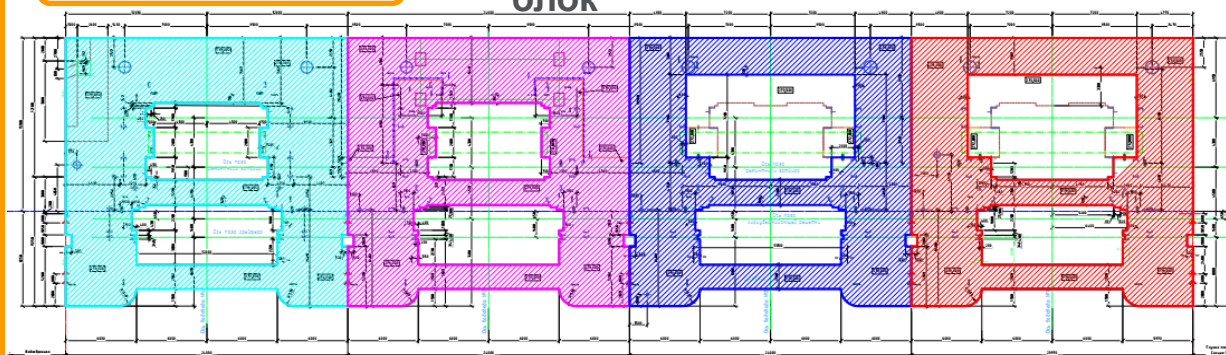


$V_{\text{блок}} \sim 150 - 221,5 \text{ м}^3$       28 блоков

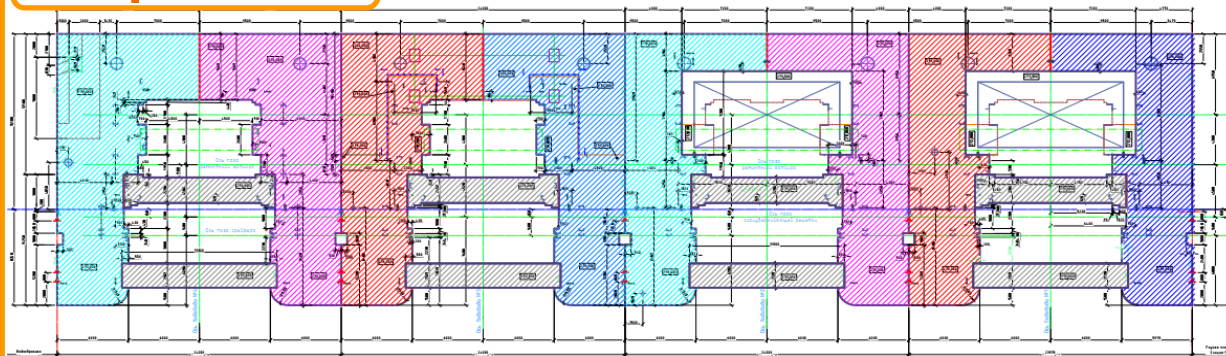


Предложения по Нижне-Зейской ГЭС

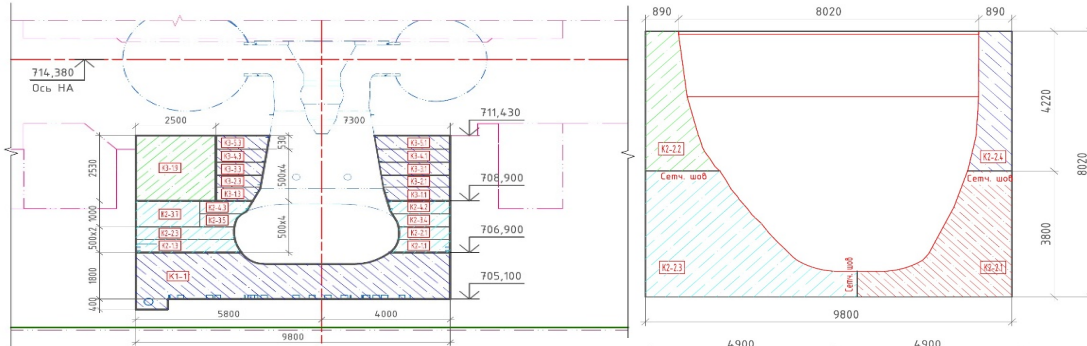
**Вариант 1**       $V_{\text{блок}} \sim 1\,350 \text{ м}^3$       4 блока



**Вариант 2**       $V_{\text{блок}} \sim 445 \text{ м}^3$       16 блоков

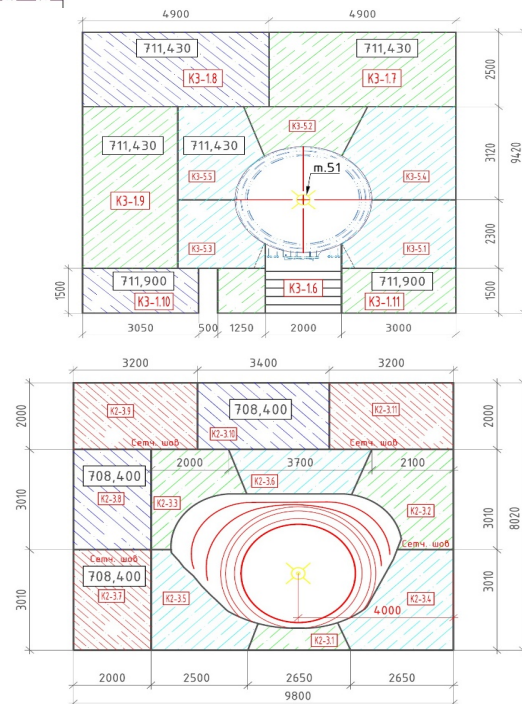


**Красногорские МГЭС**

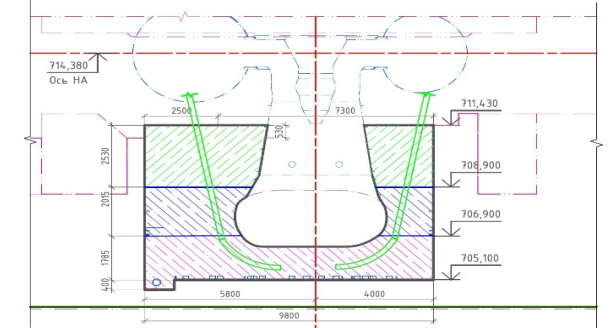
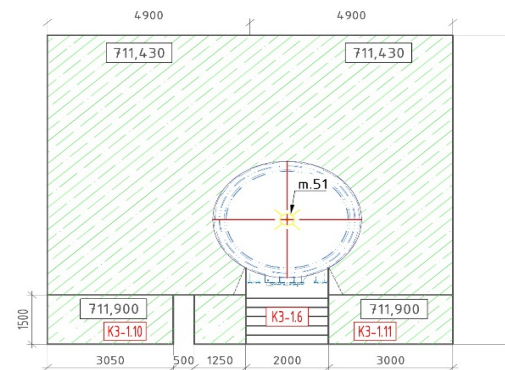
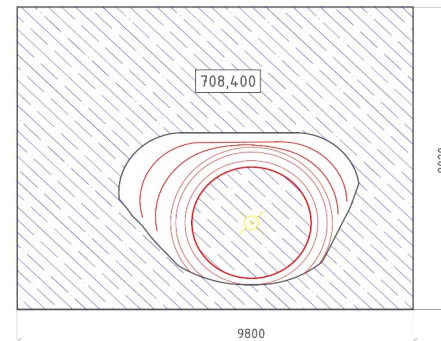
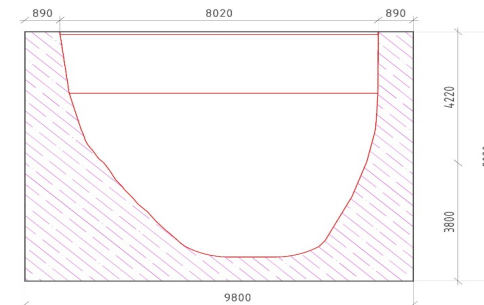


A2.2

1-й ярус – 4 захватки;  
2-й ярус – 11 захваток;  
3-й ярус – 11 захваток  
**Общее количество – 26 захваток**



**Предложения по Нижне-Зейской ГЭС**



A2.2

1-й ярус – 1 захватка;  
2-й ярус – 1 захватка;  
3-й ярус – 1 захватка

**Общее количество**



1. Разработаны и внедрены уникальные технологии скоростного бетонирования, доказавшие эффективность на объектах атомной энергетики и открывающие широкие перспективы для гидроэнергетического строительства.
2. Возведение ГЭС массивными блоками — эффективный метод повышения монолитности и надежности за счет минимизации швов.
3. Критический фактор — риск температурного трещинообразования от экзотермии цемента.
4. Применение низкотермичных бетонов (НТБ)— главный инструмент управления термонапряженным состоянием.
5. Необходим комплексный подход: НТБ + цифровое моделирование + мониторинг + (в некоторых случаях принудительное охлаждение).
6. Перспектива: Дальнейшее развитие технологий скоростного возведения — ключевой фактор модернизации отечественной гидротехнической отрасли



5. В АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» проводятся исследования, направленные на:

- ✓ разработку критериев оценки трещиностойкости конструкций в раннем возрасте;
- ✓ определение тепловыделения бетонов на стадии проектирования составов;
- ✓ совершенствование методов расчета температурных полей.

### **Перспективные направления:**

Создание цифровых моделей процессов твердения интегрирующих теплофизические, механические и реологические зависимости.

### **Возможности:**

Обоснованный выбор:

- размеров блоков;
- технологических решений по возведению ГТС;
- состава бетонной смеси;
- режимов охлаждения;
- характеристик теплоизоляции;
- сроков распалубки.





# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

**АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»**  
г. Санкт-Петербург, ул. Гжатская, 21  
Тел.: +7 (812) 535-54-45  
E-mail: [vniig@vniig.ru](mailto:vniig@vniig.ru)  
[www.vniig.rushydro.ru](http://www.vniig.rushydro.ru)

**Тютюнщиков Н.В.**  
Зав. лабораторией «Технологии бетонных работ  
и специальных исследований в строительстве»,  
АО "ВНИИГ им.Б.Е. Веденеева" , к.т.н.  
Тел.: +7 (921) 578-12-82  
E-mail: [tyutyunschikovnv@vniig.ru](mailto:tyutyunschikovnv@vniig.ru)

